COLEGIO DE INGENIEROS DE VENEZUELA

REVISTA
294



1972
28 DE OCTUBRE



REVISTA DEL COLEGIO DE INGENIEROS DE VENEZUELA

Nº 294 Octubre de 1972

Las opiniones y conclusiones expresadas en los trabajos de esta Revista, son de la exclusiva responsabilidad de los autores.

SUSCRIPCION

El precio de la suscripción anual a la Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela, que se publica en Marzo, Junio, Septiembre y Diciembre, es de Bs. 32,00. Precio del número atrasado: Bs. 10,00

OFICINA DE PRENSA

DIRECCION: Avenida Principal del Parque Los Caobos - Teléfonos: 54 56 94 - 55 69 92 - 54 45 46 - 54 45 47 - 54 45 48 Apartado 2006 - Cable: Coinve □ HORAS DE OFICINA: Lunes a Viernes: 9 a 12 m. y 3 a 7 p.m. - Caracas - Venezuela

Circulación: 11.000 Ejemplares

Impreso en Venezuela por Editorial Arte

Colegio de Ingenieros de Venezuela

Dimensionamiento preliminar de pórticos sometidos a cargas horizontales

Ing. Francisco Abenante

Uno de los puntos más importantes de las normas sísmicas de emergencia (quizás el más importante) es el que limita la deformación de un entrepiso con respecto al inmediato inferior, al 2 por mil de la altura entre ellos. Siendo este valor bastante restrictivo, influye decisivamente en la estructuración en general, obligando en muchos casos a rigidizar las edificaciones mediante la introducción de pantallas de corte o elementos similares en función.

Resulta entonces de primordial importancia, conocer de una manera sencilla, sin grandes complicaciones de cálculos más elaborados, la rigidez de una estructura dada en su etapa de dimensionamiento preliminar, y a la vez, cómo se modifica su rigidez al cambiar secciones de algunos de sus miembros estructurales.

Para resolver dicho problema en las edificaciones formadas por pórticos, proponemos el método que se esboza a continuación:

Entre las diferentes fórmulas que permiten predecir, de una manera más o menos aproximada, el desplazamiento de un entrepiso, resulta particularmente cómoda, tanto por su sencillez como por su precisión, la propuesta por el Ing. Luis Pérez Olivares, que se resume así:

$$\triangle_n = \frac{Vh^2}{24E} \left\{ \frac{2}{\Sigma Kc} + \frac{1}{\Sigma KV_n} + \frac{1}{\Sigma KV_{n-1}} \right\}$$

Donde: $\triangle_n$ = desplazamiento del nivel "n" con respecto al nivel "n-1".

V = corte total que actúa sobre el nivel "n".

ΣK_c = suma de rigideces de las columnas entre los niveles "n" y "n-1".

ΣKv_n = suma de rigideces de las vigas del nivel "n".

ΣKv_{n-1} = suma de rigideces de las vigas del nivel "n-1".

Esta fórmula da resultados muy ajustados en caso de pórticos bastante simétricos, y aceptables en pórticos medianamente simétricos, pudiendo tener errores apreciables al tratarse de pórticos en exceso irregulares. En todo caso, siempre puede ser una buena estimación inicial.

Al analizarse el primer entrepiso, la dispersión es muy grande, debiendo corregirse en la siguiente forma:

$$\triangle = \frac{Vh^2}{12E} \left\{ \frac{1}{\Sigma K_c} + \frac{1}{2\,\Sigma Kv + {}^1/_6\, \Sigma K_c} \right\}$$

Si consideramos ahora, que en la mayoría de los casos la variación de rigideces de vigas de piso a piso es pequeña, y prácticamente nula entre pisos tipo de un edificio, podemos simplificar en la forma siguiente:

$$\triangle = \frac{Vh^2}{12E} \left\{ \frac{1}{\Sigma K_c} + \frac{1}{\Sigma Kv} \right\} \qquad \delta = \frac{\triangle}{h} = \frac{Vh}{12E} \left\{ \frac{1}{\Sigma K_c} + \frac{1}{\Sigma Kv} \right\}$$

Siendo ΣKv la suma de las rigideces de las vigas del nivel "n" considerado (en algunos casos, cuando la hipótesis anterior no es aceptable, puede cambiarse en la forma que se indica más adelante).

Resulta conveniente expresar lo anterior en función de la deformabilidad para el caso de vigas infinitamente rígidas:

$$\delta\infty = \frac{\triangle\, min}{h} = \frac{Vh}{12E} \times \frac{1}{\Sigma K_c}$$

$$\delta = \frac{Vh}{12E} \times \frac{1}{\Sigma K_c} \left\{ 1 + \frac{\Sigma K_c}{\Sigma Kv} \right\} = \delta\infty \left\{ 1 + \frac{\Sigma K_c}{\Sigma Kv} \right\}$$

Tomemos como parámetro: $\frac{\Sigma K_c}{\Sigma Kv} = p \qquad \delta = \delta\infty\ [1 + p]$ (1)

Para el primer entrepiso, la fórmula quedaría:

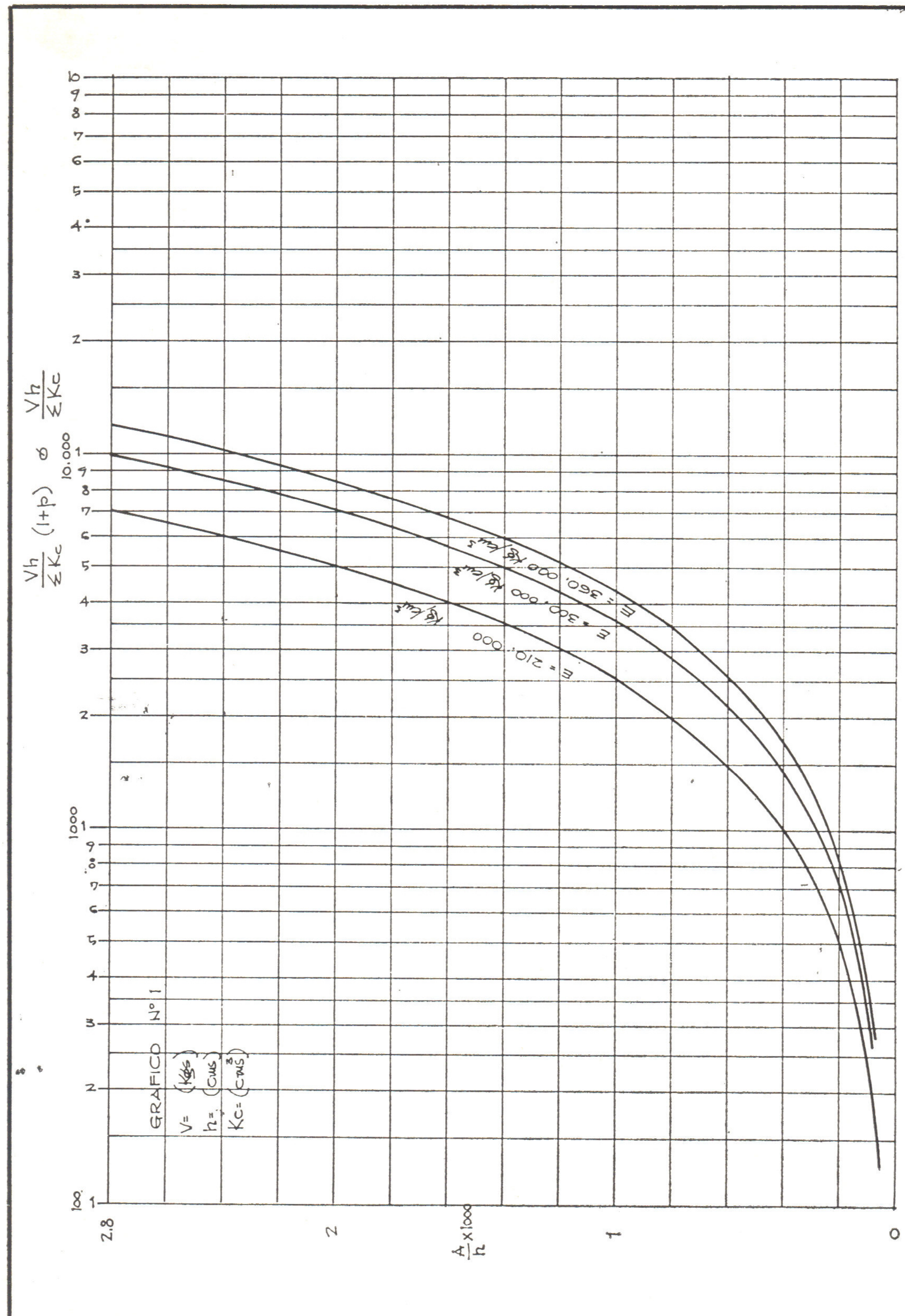
$$\delta = \delta\infty \left\{ 1 + \frac{p}{2 + \frac{p}{6}} \right\}$$

Si la diferencia entre rigideces de vigas de los niveles "n" y "n-1" es apreciable, se debe tomar un "p" promedio (como se demuestra más adelante) entre los correspondientes a estos niveles, es decir:

$$p = \frac{p_n + p_{n-1}}{2}$$

Siendo: $p_n = \frac{\Sigma K_c}{\Sigma Kv_n}$

$$p_{n-1} = \frac{\Sigma K_c}{\Sigma Kv_{n-1}}$$


GRAFICO Nº 1
V= (Kgs)
h= (cms)
Kc= (cms³)
E = 360,000 Kg/cm²
E = 300,000 Kg/cm²
E = 210,000 Kg/cm²
A/h x 1000
2.8
2
1
0
10.000
1000
100

En el gráfico N° 1 se han presentado curvas de la expresión (1) para diferentes valores de E. Entrando con $\frac{Vh}{\Sigma Kc}(1+p)$, obtendremos la relación desplazamiento-altura del pórtico real. Si el valor de entrada corresponde a $\frac{Vh}{\Sigma Kc}$, obtendremos la mínima relación de desplazamiento (vigas infinitamente rígidas). Este valor es muy interesante, pues ese tamaño en las columnas, constituye un valor límite, no pudiendo obtenerse una relación menor, cualquiera que sea el tamaño de las vigas. Este constituye el primer paso de la verificación del dimensionamiento.

Parece lógico dimensionar primero las columnas de acuerdo con la carga que sobre ellas obra, previendo además su capacidad a excentricidades más o menos fuertes, lo cual puede estimarse en números gruesos, según la experiencia. La utilización de un esfuerzo nominal base para el dimensionamiento es una práctica lógica y sencilla y que puede fundamentarse racionalmente, como lo demuestran algunos estudios realizados recientemente al respecto. (Seismic Design Criteria for Reinforced Concrete Buildings - J. Ferry Borges - Memoria N° 266 - Laboratorio Nacional de Engenharia Civil - Lisboa). Una vez predimensionadas las columnas, se efectúa lo propio con las vigas.

Para cada entrepiso puede ahora determinarse el valor $p=\frac{\Sigma Kc}{\Sigma Kv}$. Analicemos un entrepiso cualquiera. Con el corte total a este nivel (V), la suma de rigideces de las columnas por debajo del nivel considerado (ΣKc) y la reclamabilidad $\delta=\frac{\Delta}{h}$.

Si es inferior a 0.002, estaremos dentro del requerimiento. Si es superior, habrá que modificar las dimensiones de vigas o columnas, o ambas, de modo de obtener mayor rigidez. Aunque existirán excepciones, casi siempre $p>1$. Las excepciones ocurrirán en los pisos superiores de los edificios, pero aun en este caso, y cumpliéndose los requisitos de deformabilidad, no es deseable que las vigas tengan capacidad a flexión superior a las columnas que las soportan, cosa fácil de ocurrir si aquéllas tienen inercias superiores a las últimas. No debemos olvidar que en caso de sismos mayores la estructura tendrá incursiones en el rango plástico, pues los cortes de diseño, por fuertes que sean siempre serán bastante inferiores a los que pueden generarse en un sismo mayor si se pretende un comportamiento puramente elástico. Ante este hecho, hay que tratar que las articulaciones se formen siempre primero en las vigas, para prevenir la formación de mecanismos. En resumen, deben evitarse las columnas débiles bajo vigas fuertes (criterio S.E.A.O.C.).

En caso de obtenerse deformabilidad superior al límite, antes de proceder al incremento de dimensiones de miembros, conviene investigar la deformabilidad $\delta\infty$, lo cual puede hacerse con el mismo gráfico N° 1, entrando ahora con $Vh/\Sigma Kc$. El valor correspondiente $\delta\infty$ debe ser forzosamente inferior a 0.002 si se pretende conservar las dimensiones de columnas, variando sólo las vigas.

Para facilitar el nuevo dimensionamiento, evitando convertir el problema en repetidos tanteos, resulta útil averiguar, para una relación "p" inicial, cuánto disminuye el desplazamiento al aumentar en un cierto porcentaje las dimensiones de vigas o columnas. O de otra forma: en qué porcentaje debemos aumentar las rigideces de unas u otras para que el nuevo piso cumpla con los requerimientos de desplazamiento.

Caso 1° Modificación del desplazamiento aumentando sólo las rigideces de vigas.

$$p = \frac{\Sigma K_c}{\Sigma Kv} = \text{relación inicial de rigideces.}$$

r_v = factor de aumento de rigideces de vigas.

$$p' = \frac{\Sigma K_c}{r_v \Sigma Kv} = \frac{p}{r_v} = \text{nueva relación de rigideces}$$

$$\delta = \delta\infty\ (1 + p); \qquad \delta' = \delta\infty\ (1 + p')$$

$$\frac{\delta'}{\delta} = \frac{1 + p'}{1 + p} = \frac{r_v + p}{r_v\ (1 + p)}$$

Caso 2º Modificación del desplazamiento aumentando sólo las rigideces de columnas.

r_c = factor de aumento de rigideces de columnas.

$$p' = \frac{r_c \Sigma Kc}{\Sigma Kv} = r_c p = \text{nueva relación de rigideces.}$$

$$\delta = \delta\infty\ (1 + p)$$

$$\delta = \delta'\infty\ (1 + p') = \frac{1}{r_c}\, \delta\infty\ (1 + p')$$

$$\frac{\delta'}{\delta} = \frac{(1 + r_c p)}{r_c\ (1 + p)}$$

En el gráfico Nº 2 se han planteado las curvas correspondientes, pudiéndose leer, para cualquier valor de p, cómo varía la deformabilidad nueva, con respecto a la inicial $\frac{\delta'}{\delta}$ al incrementarse las rigideces de vigas o columnas.

Supongamos un caso particular en que con relación inicial $p = 4$ y un corte dado, se obtuvo un $\delta = 0.003$. Queremos llevar este valor a $\delta' = 0.002$.

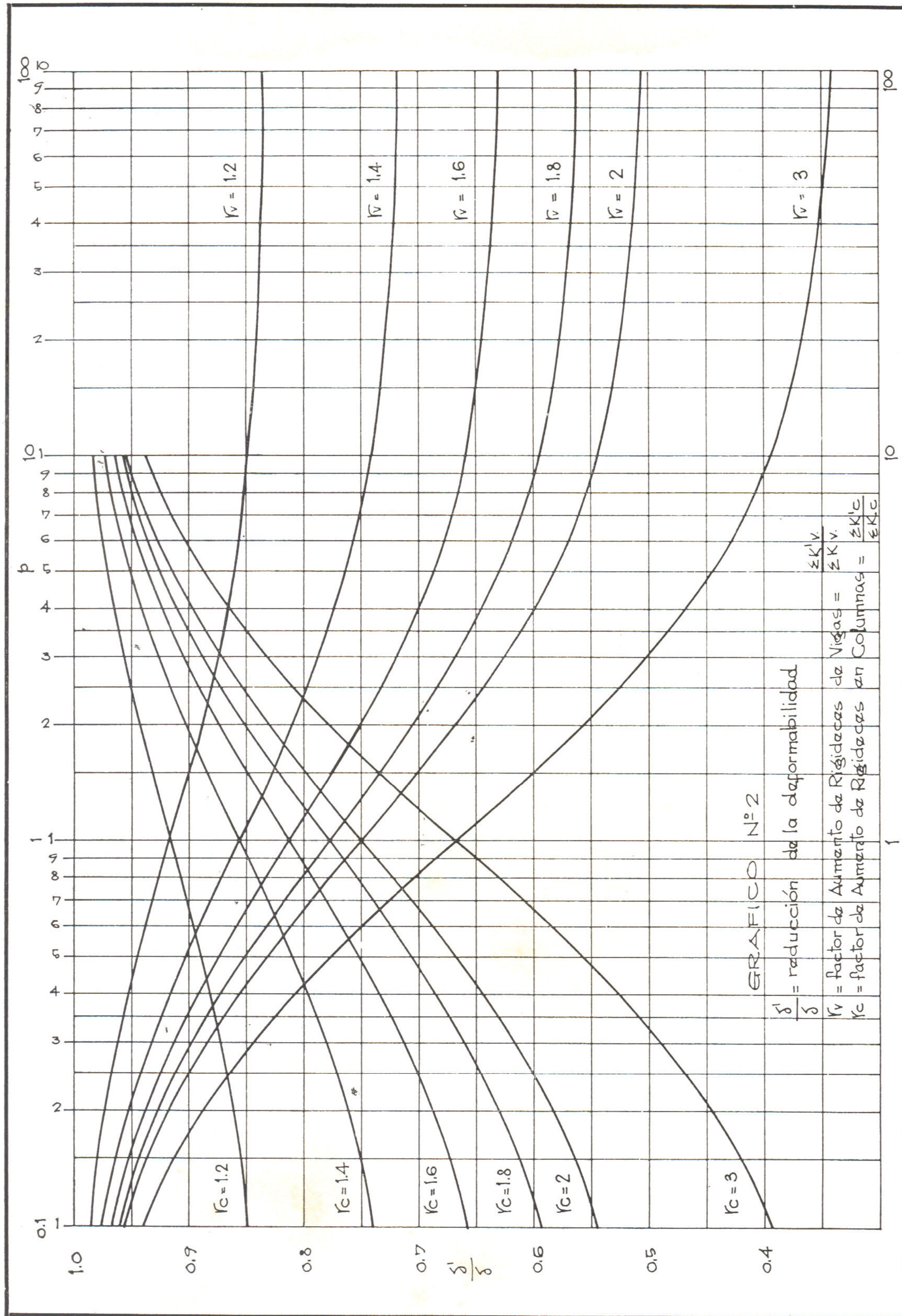
Entonces $\frac{\delta'}{\delta} = 0.66$. Con este valor y $p = 4$, estudiamos el gráfico Nº 2.

$r_v = 1.7$, luego lograremos la rigidez deseada incrementando las rigideces de vigas en un 70%.

Nótese que en este caso no vale la pena aumentar las rigideces de columnas (solamente), pues triplicándose sólo se logra reducir el desplazamiento al 87%.

Se ve claramente que los incrementos en rigideces de columnas sólo son ventajosos para valores $p \leqslant 1$ (o ligeramente mayores que uno).

Al crecer p, las curvas de incrementos de rigideces en columnas se estabilizan, haciéndose el haz asintótico a 1.


GRAFICO N° 2
δ'/δ = reducción de la deformabilidad
rv = factor de Aumento de Rigideces de Vigas = ΣK'v/ΣKv
rc = factor de Aumento de Rigideces en Columnas = ΣK'c/ΣKc
rv = 1.2
rv = 1.4
rv = 1.6
rv = 1.8
rv = 2
rv = 3
rc = 1.2
rc = 1.4
rc = 1.6
rc = 1.8
rc = 2
rc = 3
p
δ'/δ
1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.1
1
10
100

Ej-1

EJEMPLO:

SUPONGASE LA ESTRUCTURA DE UN EDIFICIO (REAL) COMO SE ESQUEMATIZA A CONTINUACION:

ESQUEMAS DE RIGIDECES $\left(\frac{I}{L}\right)$ Y ALTURAS DE PISO.

PORTICOS A y D.

Col. 1	Viga 1-2	Col. 2	Viga 2-3	Col. 3	Viga 3-4	Col. 4	Altura
368	562	327	562	368	607	245	2,75
368	"	327	"	368	"	245	2,75
368	"	327	"	368	"	245	2,75
368	"	1775	"	409	"	245	2,75
409	"	1775	"	409	"	327	2,75
409	"	1515	"	532	"	327	2,75
450	"	1515	"	532	"	450	2,75
450	"	2618	"	1261	"	450	2,75
532	"	2618	"	1261	"	532	2,75
532	562	5113	562	1261	510	532	2,75
1047	1223	5113	1223	2651	1109	1454	2,75
960		4687		2430		1333	3,34

PORTICOS B y C.

Col. 1	Viga 1-2	Col. 2	Viga 2-3	Col. 3	Viga 3-4	Col. 4
245	670	245	670	245	608	245
245	"	245	"	245	"	245
245	"	245	"	1136	"	409
245	"	828	"	1136	"	409
327	"	828	"	2618	"	844
327	"	1963	"	2618	"	844
450	"	1963	"	2618	"	844
450	"	2618	"	4158	"	1454
532	"	2618	"	4158	"	1454
532	"	2618	"	4158	510	1454
1047	629	5197	629	7053	570	3030
960		4764		6465		2777

En algunos casos puede ser conveniente incrementar ambas, vigas y columnas. Esto puede tantearse fácilmente con ayuda de ambos gráficos.

De más está señalar que los incrementos requeridos no tienen que realizarse en todos los miembros. Pueden distribuirse o concentrarse a voluntad, siempre que la suma de los incrementos sea la requerida y recordando los problemas inherentes a la torsión por asimetría y a cambios bruscos en rigideces.

TABULACION DE DATOS Y RESULTADOS.
E = 210.000 Kg./cm.^{2}

NIVEL	V (Kgs.)	h (cm.)	Σ Kv.	Σ Kc	p	$\frac{Vh}{\Sigma Kc}(1+p)$	$\delta\ \frac{\Delta}{h} \times 1000$	δ real	$\frac{\delta}{\delta \text{ real}}$
12	40.600	275	14714	8 172	0.555	2125	0.84	0,86	0,98
11	61.980	275	14714	8172	0,555	3243	1.29	1,33	0,97
10	81.430	275	14714	12064	0.820	3378	1.34	1.44	0,93
9	99.000	275	14714	16352	1.111	3515	1.40	1.47	0.95
8	114.630	275	14714	23806	1.618	3467	1.38	1.51	0,91
7	128.610	275	14714	31798	2.161	3516	1.40	1.52	0,92
6	140.620	275	14714	32700	2.222	3810	1,51	1.62	0,93
5	150.830	275	14714	50024	3,400	3648	1,45	1,55	0,94
4	159.110	275	14714	50842	3.455	3834	1,52	1,61	0,94
3	165,460	275	14714	60826	4,249*	3927	1,56	1,57	0,99
2	169.830	275	13936	97400	5.756*	3239	1,28	1,27	1,01
1	172.750	334	21.532	89.282	1,541**	1642	0,65	0,76	0,86

* Valores promediados por disparidad de vigas
** Valor corregido para primera planta.

NOTA: El δ real fue calculado mediante un programa adecuado, propiedad de la firma "CYPECA".

Distribución de cortes laterales entre pórticos, proporcionalmente a sus rigideces

Para este problema también resulta útil el gráfico N° 1. Entrando en él con V=1, podemos obtener fácilmente la rigidez de un pórtico y así mismo la de los demás, pudiéndose entonces efectuar la distribución de cortes.

Sin embargo, para este problema, que ya se acerca al diseño, debemos levantar la simplificación inicial de suponer vigas iguales para dos niveles consecutivos (cuando no sea aplicable).

Tomando la fórmula inicial como valedera, llamemos:

$$p_n = \frac{\Sigma Kc}{\Sigma Kv_n} \qquad p_{n-1} = \frac{\Sigma Kc}{\Sigma Kv_{n-1}}$$

$$\triangle_n = \frac{Vh^2}{24E} \left\{ \frac{2}{\Sigma K_c} + \frac{1}{\Sigma Kv_n} + \frac{1}{\Sigma Kv_{n-1}} \right\} =$$

$$= \frac{Vh^2}{12E} \times \frac{1}{\Sigma K_c} \left\{ 1 + \frac{p_n + p_{n-1}}{2} \right\}$$

O sea, que la única modificación necesaria es cambiar el valor p por la semisuma de los mismos valores correspondientes a los niveles "n" (analizado) y n–1.

En la tabla de la pág. 46 podemos observar la simplicidad del proceso y lo aproximado de los resultados (para este caso particular).

Si se quisiera reducir la deformabilidad del nivel 6, por ejemplo, del valor 1.51°/₀₀ obtenido a otro valor, digamos 1.2°/₀₀, haríamos uso del gráfico N° 2, entrando con:

$$\frac{\delta'}{\delta} = \frac{1.2}{1.51} 0.79; \quad p=2.22$$

obtendremos: $r_v=1.45$.

Esto significa que habrá que aumentar la inercia de las vigas de este nivel y del inferior en un 45%. (Si se desea aumentar sólo las vigas).

El otro valor, $r_c=3.0$ (si se desa aumentar sólo las columnas), revela que habría que triplicar las rigideces de las columnas de dicho nivel.

DEL CODIGO DE ETICA

"Art. 4° Se considera contrario a la ética e incompatible con el digno ejercicio de la profesión ofrecerse para el desempeño de especialidades y funciones para las cuales no tenga capacidad, preparación y experiencia razonables, así como expresarse de sí mismo o anunciarse en términos laudatorios o en cualquier forma que atente contra la dignidad y seriedad de la profesión".